




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**«Дальневосточный федеральный университет»**  
(ДВФУ)  
**ИНСТИТУТ НАУКОЕМКИХ ТЕХНОЛОГИЙ И ПЕРЕДОВЫХ МАТЕРИАЛОВ (ШКОЛА)**

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОП ДТФИТ

И.о. зам. директора по учебной и  
методической работе ИНТПМ

  
(подпись)

Нефедев К.В.  
(ФИО)



(подпись)  
2022 г.

Красицкая С.Г.  
(ФИО.)

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Теория фазовых переходов**  
**Программа бакалавриата**  
**по направлению подготовки 03.03.02 Физика,**  
**профиль «Цифровые технологии в физике»**

Форма подготовки очная

курс 4 семестр 8  
лекции 30 час.  
практические занятия 00 час.  
лабораторные работы 50 час.  
в том числе с использованием  
всего часов аудиторной нагрузки 80 час.  
самостоятельная работа 28 час.  
в том числе на подготовку к экзамену 36 час (если экзамен предусмотрен).  
контрольные работы (количество) не предусмотрены  
курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены  
зачет 0 семестр  
экзамен 8 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями  
Федерального государственного образовательного стандарта  
по направлению подготовки **03.03.02 Физика**,  
утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ  
от 7 августа 2020 г. № 891.

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента теоретической физики и  
интеллектуальных технологий, протокол № 4 от «25» ноября 2021 г.  
Директор Департамента: Нефедев К.В.  
Составители: профессор, д.ф.-м.н. Афремов Л. Л., доцент, к.ф.-м.н. Ильюшин И. Г.

Владивосток,  
2022

**Оборотная сторона титульного листа РПД**

**I. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**II. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**III Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

**IV. Рабочая программа пересмотрена на заседании ДТФИТ:**

Протокол от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_

Директор департамента \_\_\_\_\_  
(подпись) (И.О. Фамилия)

1. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель: Основная цель курса состоит в изучении основных положений теории фазовых переходов и ее приложений к решению задач физики конденсированного состояния и физики сильно коррелированных систем.

Задачи:

1. Дать общие представления о фазовых переходах первого и второго рода.
2. Рассмотреть переходы первого рода на примерах газ – жидкость – твердое тело, металл – изолятор.
3. В рамках моделей Изинга и Гейзенберга в положении эффективного поля рассмотреть фазовые переходы второго рода в системе локальных магнитных моментов с взаимодействием.
4. Изучить влияние флуктуаций на восприимчивость и теплоёмкость вблизи критической температуры ферромагнетика.

Профессиональные компетенции выпускников и индикаторы их

достижения:

Тип задач	Код и наименование профессиональной компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Профессиональные компетенции	ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики, а также стандартные программные средства компьютерного моделирования для освоения профильных физических дисциплин	ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	Знает наиболее эффективные методы решения основных типов задач в физике фазовых переходов
	Умеет применять наиболее эффективные методы решения для основных типов задач в физике фазовых переходов
	Владеет навыками применения алгоритмов, методов, пакетов программ для решения основных типов задач в физике фазовых переходов

2. Трудоемкость дисциплины и видов учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётных единиц (1444 академических часа).

(1 зачетная единица соответствует 36 академическим часам)

Видами учебных занятий и работы обучающегося по дисциплине могут являться:

Обозначение	Виды учебных занятий и работы обучающегося
Лек	Лекции
Лаб	Лабораторные работы
СР	Самостоятельная работа обучающегося в период теоретического обучения
Контроль	Самостоятельная работа обучающегося и контактная работа обучающегося с преподавателем в период промежуточной аттестации

Структура дисциплины:

Форма обучения – \_\_\_\_\_ очная \_\_\_\_\_.

№	Наименование раздела дисциплины	Семестр	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Формы промежуточной аттестации	
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР		Контроль
1	Термодинамическое описание равновесных систем	8	7	12			7	8	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1), Тест (ПР-1)
2	Фазовые переходы первого рода и второго рода	8	7	12			7	8	
3	Фазовый переход ферромагнетик-парамагнетик	8	7	12			7	8	
4	Флуктуации в ферромагнетиках. Фазовый переход в системе бозонов	8	9	14			7	8	
Итого:			30	50			28	36	

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

#### Раздел 1. 7 час. Термодинамическое описание равновесных систем

Термодинамические потенциалы. Условия равновесия термодинамической системы. Статистическое определение термодинамических потенциалов. Энергия, энтропия, химический потенциал. Эффективное поле взаимодействия.

#### Тема 1. 3 час. Основные понятия теории

Термодинамические потенциалы. Условия равновесия термодинамической системы. Статистическое определение термодинамических потенциалов.

**Тема 2. 4 час. Термодинамические характеристики цепочки изинговских спинов.** Энергия, энтропия, химический потенциал. Эффективное поле взаимодействия.

**Раздел 2. 7 час. Фазовые переходы первого и второго рода** Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Температурная зависимость упругости насыщенного пара. Теория конденсации газа Ван-дер-Ваальса. Переход металл – изолятор (переход Мотта). Параметры порядка. Элементы теории фазовых переходов Ландау.

**Тема 1. 3 час. Фазовые переходы первого рода** Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Температурная зависимость упругости насыщенного пара. Теория конденсации газа Ван-дер-Ваальса. Переход металл – изолятор (переход Мотта).

**Тема 2. 4 час. Фазовые переходы второго рода** Параметры порядка. Элементы теории фазовых переходов Ландау.

**Раздел 3. 7 час. Фазовый переход ферромагнетик - парамагнетик** Микроскопическое описание магнитных свойств парамагнетиков. Ферромагнетики. Обменное взаимодействие. Модели Изинга и Гейзенберга. Фазовый переход ферромагнетик-парамагнетик в приближении среднего поля. Поле Вейса. Метод Брегга-Уильямса. Магнитная восприимчивость и теплоемкость в теории среднего поля. Ферромагнитное упорядочение в цепочке и двухмерной системе взаимодействующих изинговских спинов. Функция распределения случайных полей взаимодействия в модели Изинга. Приближение нормального распределения. Переходы парамагнетик – ферромагнетик. Понятие о спиновых стеклах. Статистическая сумма, параметр порядка, теплоемкость и магнитная восприимчивость. Сравнение с моделью Изинга.

**Тема 1. 1 час. Система взаимодействующих магнитных моментов** Микроскопическое описание магнитных свойств парамагнетиков. Ферромагнетики. Обменное взаимодействие. Модели Изинга и Гейзенберга. Функция распределения случайных полей взаимодействия в модели Изинга. Приближение нормального распределения. Переходы парамагнетик – ферромагнетик. Понятие о спиновых стеклах.

**Тема 2. 2 час. Приближение среднего поля** Фазовый переход ферромагнетик-парамагнетик в приближении среднего поля. Поле Вейса. Метод Брегга-Уильямса. Магнитная восприимчивость и теплоемкость в теории среднего поля.

**Тема 3. 1 час. Приближение среднего спина** Функция распределения случайных полей взаимодействия в модели Изинга. Приближение

нормального распределения. Переходы парамагнетик – ферромагнетик.  
Понятие о спиновых стеклах.

**Тема 4. 1 час. Точно решаемые задачи для системы спинов**

Ферромагнитное упорядочение в цепочке и двумерной системе взаимодействующих изинговских спинов.

**Тема 5. 2 час. Классическая модель Гейзенберга** Статистическая сумма, параметр порядка, теплоемкость и магнитная восприимчивость.  
Сравнение с моделью Изинга.

**Раздел 4. 9 час. Флуктуации в ферромагнетиках. Фазовый переход в системе бозонов** Корреляционная функция. Длина корреляции.

Флуктуации магнитного момента и теплоемкость вблизи критической температуры. Основное состояние ферромагнетика в модели Гейзенберга. Возбуждения в спиновой системе. Спиновые волны. Конденсация бозонов – фазовый переход второго рода. Скачек теплоемкости в точке конденсации бозонов. Энергия слабо взаимодействующих бозонов. Сверхтекучесть. Критерий Ландау.

**Тема 1. 2 час. Ближний дальний порядок** Корреляционная функция. Длина корреляции. Флуктуации магнитного момента и теплоемкость вблизи критической температуры.

**Тема 2. 2 час. Магноны** Основное состояние ферромагнетика в модели Гейзенберга. Возбуждения в спиновой системе. Спиновые волны.

**Тема 3. 3 час. Фазовый переход в системе бозонов** Конденсация бозонов – фазовый переход второго рода. Скачек теплоемкости в точке конденсации бозонов. Энергия слабо взаимодействующих бозонов. Сверхтекучесть. Критерий Ландау.

#### **4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

##### **ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. 12 час. Спонтанные магнитные**

**фазовые переходы** Цель работы: изучение особенностей магнитных фазовых переходов второго рода на примере спиновой переориентации и превращения магнитоупорядоченного состояния в парамагнитное; измерение температур фазовых переходов.

становить образец. Для этого вынуть шток из канала соленоида и одеть на него эластичную трубку с образцом. Конец термопары, выходящий из штока, должен касаться образца. Вставить без усилий шток в канал соленоида.

Подключить сосуд Дьюара к измерительной установке. Это делают преподаватель или лаборант. В сосуд медленно вводится сифон. Он представляет собой длинную трубку с нагревателем на одном конце и с пробкой и распределителем на другом конце. На распределителе имеются выводы нагревателя, клапан аварийного сброса давления и шланг для направления выходящего потока азота. Последний должен быть заглушен. После прекращения интенсивного кипения азота пробка сифона вставляется в горловину сосуда Дьюара и зажимается гайкой. Сосуд устанавливается на стойку, шланг распределителя присоединяется к трубке, ведущей в канал соленоида.

Включить вольтметр В7-21А (В2). Предварительно переключатели рода работ устанавливаются в положении «И», «100mV». Тумблер «сеть» находится на задней стенке прибора.

Включить вольтметр Ф-30 (В1). Предварительно переключатели рода работ устанавливаются в положении «И», «100mV». Вращением ручки «частота измерений» устанавливается время одного замера прибора в автоматическом режиме. Ручной режим работы включается поворотом этой ручки влево до щелчка. Однако в данной работе использование этого режима нецелесообразно.

Включить генератор ГЗ-34 (Г). Переменный ток снимается с низкоомного входа (6 Ом). Положение переключателя «вых.сопротивление», «ослабление», «внутр.нагрузка» – любое. Частота переменного тока, питающего соленоид выбирается малой (~20 Гц), поскольку при большей частоте магнитного поля возникает эффект непромагничивания образца.

После нескольких минут прогрева ручкой «рег.выхода» установить выходное напряжение около 2 В (по встроенному вольтметру).

Предварительно эта ручка должна быть установлена в крайнее левое положение.

Подключить в сеть автотрансформатор. Предварительно ручка регулировки напряжения устанавливается в крайнее левое положение. С помощью соединительного шнура через разъем к автотрансформатору подсоединить сифон.

Произвести охлаждение образца. Для этого постепенно (в течении 5–10 мин) путем поворота ручки автотрансформатора вправо увеличить напряжение питания нагревателя до ~200 В. Температура образца контролируется по вольтметру В1. Когда э.д.с. термопары достигнет 4–5 мВ можно начинать измерения.

При проведении измерений напряжение на автотрансформаторе постепенно уменьшается до нуля. При этом производится отсчет по

вольтметрам В1 (э.д.с. термопары) и В2 (магнитный отклик). Полученная зависимость магнитного отклика  $u$  от температуры должна содержать не менее 30 точек.

После отогрева системы до комнатной температуры произвести смену образца и повторить измерения. По результатам измерений построить графические зависимости  $u(T)$ , определить температуры фазовых переходов, оценить погрешности измерений, сделать заключение о характере наблюдаемых фазовых переходов.

1. Определить понятия «фаза» и «фазовый переход».
2. Отличительные признаки фазовых переходов первого и второго рода.
3. Характерные особенности температурной зависимости намагниченности по теории молекулярного поля.
4. Сущность и феноменологическое описание спонтанной спиновой переориентации.
5. Особенности магнитной восприимчивости в области температуры Кюри и спин-переориентационных переходов в реальных магнетиках.
6. Сущность методики определения температур фазовых переходов по температурным зависимостям магнитного отклика.
7. Назначение и конструктивные особенности основных узлов измерительной установки.

#### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. 12 час. Определение магнитных констант материала из параметров доменной структуры**

Цель работы: изучение взаимосвязи параметров полосовой доменной структуры и магнитных констант в пластине одноосного ферромагнетика; овладение методиками измерения статических параметров доменной структуры и магнитооптических кривых намагничивания; определение намагниченности насыщения и плотности энергии доменных границ в пластине ортоферрита. Термодинамическое понятие «фаза» обозначает, как правило, равновесное состояние вещества, отличающееся по своим физическим свойствам от других возможных состояний (фаз) того же вещества. Если ограничиться рассмотрением только магнитных свойств вещества, то можно говорить о магнитных фазах. Переход из одного состояния в другое при изменении внешних условий, называемый фазовым переходом, подразумевает качественное изменение свойств вещества.

Различают два рода фазовых переходов. При фазовом переходе первого рода скачком меняются такие термодинамические характеристики вещества как плотность, концентрация компонентов, в единице массы выделяется или поглощается вполне определенное количество теплоты



(теплота фазового перехода). Для фазового перехода первого рода характерно наличие области метастабильного существования фаз или гистерезиса перехода при изменении внешних термодинамических параметров (температура, давление и др.). При этом новая фаза с полностью сформированными свойствами зарождается в недрах старой фазы. В качестве примера магнитного фазового перехода первого рода можно рассматривать опрокидывание (спин-флоп) магнитных подрешеток анизотропного антиферромагнетика под действием внешнего поля. До определенного критического значения магнитное поле, приложенное вдоль оси легкого намагничивания, не изменяет магнитную структуру антиферромагнетика, и результирующая намагниченность отсутствует. В большем поле скачком возникает неколлинеарная (угловая) магнитная структура с симметричным расположением подрешеточных намагниченностей относительно поля. Они дают ненулевую проекцию намагниченности на направление поля. Спин-флоп имеет полевой гистерезис.

Фазовый переход второго рода характеризуется тем, что некоторая физическая величина, равная нулю с одной «стороны» от точки фазового перехода постепенно изменяется при удалении от точки перехода в другую «сторону». При этом отсутствует теплота перехода, плотность вещества изменяется непрерывно. Существенно и то, что по обе стороны от точки перехода может существовать лишь одна из фаз, другая не может существовать даже как метастабильное состояние. Это исключает гистерезис фазового перехода. Типичным фазовым переходом второго рода является превращение парамагнетик - ферромагнетик. Выше некоторой температуры (температуры Кюри -  $T_c$ ) локальные магнитные моменты в магнетике распределены хаотически, соответственно отсутствует и спонтанная намагниченность. Ниже  $T_c$  магнитные моменты имеют преимущественную ориентацию, в результате чего возникает спонтанная намагниченность, которая монотонно увеличивается по мере понижения температуры.

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. 12 час. Измерение магнитных свойств магнитотвердых материалов с помощью вибрационного магнитометра**

Цель работы: изучение явления магнитного гистерезиса; знакомство с основными характеристиками и различными видами магнитотвердых материалов; освоение методики вибрационного магнитометра; проведение измерений и анализ свойств некоторых магнитотвердых материалов.

Магнитотвердыми принято называть материалы, коэрцитивная сила которых превышает  $5 \times 10^3 \text{ А/м}$  (60 Э). Изделия из таких материалов однажды намагниченные могут сохранять это состояние в отсутствие внешнего поля, т.е. являются постоянными магнитами. Большая величина коэрцитивной силы отражает наличие в материале сильного магнитного гистерезиса.

Магнитный гистерезис представляет собой отставание текущего магнитного состояния образца от его термодинамически равновесного состояния при изменении внешних условий, например магнитного поля. Можно выделить несколько основных проявлений магнитного гистерезиса, тесно связанных с характером процесса перемагничивания:

- задержка вращения вектора намагниченности;
- задержка смещения доменных границ;
- задержка образования и роста зародышей перемагничивания;
- необратимое изменение топологии доменов и доменных границ.

Ниже приводится некоторый анализ различных механизмов перемагничивания и причин магнитного гистерезиса.

#### 1.1. Перемагничивание путем вращения намагниченности

Термодинамическое понятие «фаза» обозначает, как правило, равновесное состояние вещества, отличающееся по своим физическим свойствам от других возможных состояний (фаз) того же вещества. Если ограничиться рассмотрением только магнитных свойств вещества, то можно говорить о магнитных фазах. Переход из одного состояния в другое при изменении внешних условий, называемый фазовым переходом, подразумевает качественное изменение свойств вещества.

Различают два рода фазовых переходов. При фазовом переходе первого рода скачком меняются такие термодинамические характеристики вещества как плотность, концентрация компонентов, в единице массы выделяется или поглощается вполне определенное количество теплоты (теплота фазового перехода). Для фазового перехода первого рода характерно наличие области метастабильного существования фаз или гистерезиса перехода при изменении внешних термодинамических параметров (температура, давление и др.). При этом новая фаза с полностью сформированными свойствами зарождается в недрах старой фазы. В качестве примера магнитного фазового перехода первого рода можно рассматривать опрокидывание (спин-флоп) магнитных подрешеток анизотропного антиферромагнетика под действием внешнего поля. До определенного критического значения магнитное поле, приложенное вдоль оси легкого намагничивания, не изменяет магнитную структуру

антиферромагнетика, и результирующая намагниченность отсутствует. В большем поле скачком возникает неколлинеарная (угловая) магнитная структура с симметричным расположением подрешеточных намагниченностей относительно поля. Они дают ненулевую проекцию намагниченности на направление поля. Спин-флоп имеет полевой гистерезис.

Фазовый переход второго рода характеризуется тем, что некоторая физическая величина, равная нулю с одной «стороны» от точки фазового перехода постепенно изменяется при удалении от точки перехода в другую «сторону». При этом отсутствует теплота перехода, плотность вещества изменяется непрерывно. Существенно и то, что по обе стороны от точки перехода может существовать лишь одна из фаз, другая не может существовать даже как метастабильное состояние. Это исключает гистерезис фазового перехода. Типичным фазовым переходом второго рода является превращение парамагнетик - ферромагнетик. Выше некоторой температуры (температуры Кюри -  $T_c$ ) локальные магнитные моменты в магнетике распределены хаотически, соответственно отсутствует и спонтанная намагниченность. Ниже  $T_c$  магнитные моменты имеют преимущественную ориентацию, в результате чего возникает спонтанная намагниченность, которая монотонно увеличивается по мере понижения температуры.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. 14 час. Измерение потерь энергии в электротехнической стали по методу амперметра, вольтметра, ваттметра** Цель работы: изучение свойств электротехнической стали и ознакомление с методом амперметра, вольтметра, ваттметра, как одним из способов исследования магнитомягких материалов при динамическом перемагничивании. Электротехническая сталь представляет собой сплав железа с кремнием (0,5÷5 ат.%). Свое название эта сталь получила из-за широкого применения в силовом машиностроении. Из нее изготавливают магнитопроводы электрических машин, трансформаторов и других устройств, рассчитанных на работу при частоте перемагничивания до 400 Гц. Наиболее важными характеристиками электротехнической стали является кривая намагничивания в средних и сильных магнитных полях, а также электромагнитные потери энергии при динамическом перемагничивании. Чем круче идет кривая намагничивания, тем эффективнее «работает» материал, т.е. для создания большего изменения магнитного потока требуется меньшее магнитное поле. Термин «потери» возник в связи с тем, что часть энергии

магнитного поля, действующего на магнетик, идет на нагрев последнего, т.е. расходуется бесполезно. В частности, введение в железо кремния как раз и продиктовано стремлением к снижению потерь энергии. Кремний увеличивает удельное электросопротивление материала, что уменьшает т.н. вихревые токи. Эти токи возникают в любом проводящем материале при наличии в нем изменения магнитного потока. Именно они обуславливают большую часть потерь энергии. Однако добавка кремния даёт и отрицательный эффект. Она уменьшает индукцию насыщения и повышает хрупкость материала. Эти нежелательные факторы ограничивают концентрацию кремния. Метод амперметра, вольтметра, ваттметра Данный метод магнитных измерений в переменных магнитных полях является одним из наиболее простых и распространенных. Он позволяет определять мощность удельных потерь и основную кривую намагничивания, т.е. зависимость амплитудного значения индукции от амплитудного значения магнитного поля  $B_m(H_m)$ . Принципиальная блок-схема измерительной установки показана на рис.3. Как следует из названия метода, в нее входят вольтметры эффективных (V) и средних значений ( $V_{ср.в}$ ), амперметр (A), ваттметр (W), а кроме того испытуемый образец (O) замкнутой формы с двумя навитыми на него обмотками. Вольтметр (U) играет вспомогательную роль. Иногда в цепь включается частотомер. данной работе метод амперметра, вольтметра, ваттметра реализован на серийной установке У5011. Установка типа У5011 предназначена для определения потерь в электротехнической стали при частотах перемагничивания  $25 \div 1000$  Гц в закрытых помещениях при температуре окружающего воздуха от 10 до 35°C и относительной влажности до 80 %. Она обеспечивает достаточно высокую точность измерений при относительной простоте самих измерений. При работе на установке типа У5011 следует учесть, что трансформаторы тока, питающие амперметр и токовую обмотку ваттметра, соединены последовательно. Поэтому оба переключателя пределов тока всегда должны быть установлены примерно в одинаковые положения во избежание порчи одного из трансформаторов. При установке образцов в намагничивающем аппарате их нужно зажимать до получения минимальных показаний амперметра и ваттметра. Однако не следует злоупотреблять чрезмерными усилиями при зажатии образца, так как значительные деформации концов ухудшают магнитные качества образца. Измерение потерь энергии на образце массой 1 кг Схем собирающий переключатель (П2) устанавливается в положение «1 кг; 50 Гц». Левым кнопочным выключателем подключается электропитание. Рукояткой

левого автотрансформатора увеличивается ток намагничивания до получения на вольтметре ( $V_{cp}$ ) расчетной величины напряжения, соответствующего заданной величине индукции (см. формулу 21). При уходе показателя ваттметра влево за шкалу необходимо изменить полярность ваттметра. Показания ваттметра считываются в делениях  $\alpha$ . Значение мощности вычисляется по формуле

Потери энергии на перемагничивание рассчитываются по формуле (19).

Постоянные, входящие в (19), имеют следующие значения:  $N_1 = 100$  витков,  $N_2 = 600$  витков, сопротивление вторичной обмотки  $r_2 = 2$  Ом.

Определение основной кривой намагничивания  $B_m(H_m)$

Измерение величины  $H_m$  производится с использованием образцового сопротивления  $R_1$ , включенного в цепь тока намагничивания. Падение напряжения на сопротивлении  $R_1$  в данной работе измеряется с помощью осциллографа С1-65, который не входит в комплект установки. По измеренному падению напряжения определяется максимальное значение тока намагничивания  $I_m = U_m/R_1$ , а затем напряженность магнитного поля в образце по формуле (20). Величина индукции  $B_m$  находится по средневывраженному значению напряжения в измерительной обмотке из формулы (21). Площадь сечения образца, фигурирующая в формуле (21) вычисляется. Определение коэффициента формы Определение коэффициента формы зависимости  $B(t)$  производится в соответствии с формулой (22) по результатам измерений эффективного и средневывраженного значений напряжения вольтметрами ( $V$ ) и ( $V_{cp}$ ). В ходе лабораторной работы необходимо измерить:

- 1) основную кривую намагничивания  $B_m(H_m)$ ;
- 2) зависимость мощности удельных потерь от индукции  $P(B_m)$ ;
- 3) зависимость  $K_f(B_m)$ .

Измерения выполняются в интервале изменения индукции ( $0 \div 1,2$  Тл).

Следует иметь в виду, что с помощью ваттметра находится мощность потерь во всём образце (измеряется в Вт). Если полученную величину отнести к массе, то будет найдена мощность удельных потерь (измеряется в Вт/кг).

Математическая обработка результатов эксперимента проводится на ПЭВМ по программе «Эпштейн». В программу введены следующие константы: площадь сечения образца –  $0,13 \times 10^{-3}$  м<sup>2</sup>, длина образца – 1 м, масса образца – 1 кг, частота перемагничивания – 50 Гц, число витков намагничивающей обмотки – 100, число витков измерительной обмотки – 600, образцовое сопротивление – 0,01 Ом, сопротивление измерительной обмотки – 2 Ома, полное сопротивление измерительной цепи – 17985 Ом.

В отчёт необходимо включить сведения о систематических погрешностях в определении всех вышеуказанных величин, а также случайной погрешности мощности удельных потерь. Для этого следует многократно измерить величину  $P$  (15–20 измерений) при фиксированной индукции  $Wm$ . Обработка результатов измерений проводится по программе «Статистика».

## 5. СТРУКТУРА, СОДЕРЖАНИЕ, УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

(и Онлайн курса при наличии)

### Рекомендации по самостоятельной работе студентов

*Приводятся рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы в целом по курсу.*

### План-график выполнения самостоятельной работы по дисциплине

№ п/п	Вид самостоятельной работы	Дата/сроки выполнения	Примерные нормы времени на выполнение	Форма контроля
	Задания для самостоятельной работы к разделу 1.	1-18 неделя	7	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)
	Задания для самостоятельной работы к разделу 2.	1-18 неделя	7	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)
	Задания для самостоятельной работы к разделу 3	1-18 неделя	7	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)
	Задания для самостоятельной работы к разделу 4	1-18 неделя	7	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)

### Задания для самостоятельной работы к разделу 1-4.

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется следующее программное обеспечение: Microsoft Office ( Excel, PowerPoint, Word и т. д), Open Office, программное обеспечение электронного ресурса сайта ДВФУ, включая ЭБС ДВФУ.

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используются следующие

информационно справочные системы: ЭБС ДВФУ, библиотеки, ресурсы и порталы по естествознанию.

Важной является самостоятельная работа по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его.

Методические указания по сдаче зачета.

Зачеты принимаются ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора филиала по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей.

Форма проведения зачета (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины.

Обсуждение проводится по текущему лекционному материалу и затрагивает наиболее важные изложенные результаты. Примеры вопросов для обсуждения:

1. Характерные признаки и различия фазовых переходов I и II родов.
2. Характеристики состояния неполного равновесия и его отличия от состояния истинного равновесия.
3. Соотношение между основными приближениями в теории среднего поля магнитного фазового перехода.
4. Отличия результатов теории Ландау и метода критических индексов во флуктуационной области.

Опрос проводится по пройденному материалу. Примеры вопросов:

1. Как связано распределение Гиббса со статистической независимостью подсистем?
2. Почему температура в состоянии равновесия всегда положительна?
3. Из каких физических представлений получается формула для вероятности флуктуаций в замкнутой системе?
4. Если фазовый переход I рода происходит при повышении температуры, то каков знак тепла перехода?

Примеры вопросов для контрольных работ:

1. Правило фаз Гиббса.
2. Разложение Ландау для термодинамического потенциала.
3. Восприимчивость и её зависимость от температуры.
4. Термодинамические величины в области слабых и сильных полей.
5. Уравнения Эренфеста.
6. Корреляционная функция флуктуаций.

Вопросы

1. Фазовые переходы и их влияние на свойства веществ. Примеры важнейших низкотемпературных фазовых переходов.
2. Фазовый переход как состояние неполного равновесия. Параметр порядка.

3. Связь состояний частичного и полного равновесия системы. Минимизация термодинамического потенциала состояния частичного равновесия.
4. Гетерофазное состояние системы. Вероятность образования зародыша. Вклад гетерофазных флуктуаций в термодинамический потенциал.
5. Классификация фазовых переходов.
6. Фазовые переходы I рода. Условия равновесия фаз.
7. Критическая точка. Бинодаль и спинопаль.
8. Термодинамические неравенства.
9. Уравнение ван-дер-Ваальса. Модельная система с фазовым переходом I рода.
10. Равновесие фаз в смесях и растворах. Правило фаз Гиббса.
11. Равновесие фаз в слабых растворах.
12. Выделение тепла и изменение объёма при растворении.
13. Фазовые переходы II рода. Примеры. Изменение симметрии при переходе.
14. Микроскопическая модель фазового перехода II рода: система спинов на решетке.
15. Параметр порядка. Разложение Ландау термодинамического потенциала по степеням параметра порядка. Условия на коэффициенты разложения.
16. Изменение термодинамических величин при переходе. Уравнения Эренфеста.
17. Влияние внешнего поля на фазовый переход. Обобщенное поле. Восприимчивость.
18. Флуктуации параметра порядка и их корреляционная функция.
19. Теория эффективного гамильтониана.
20. Флуктуационная поправка к теплоёмкости при фазовом переходе II рода. Границы применимости теории Ландау.
21. Флуктуационная область. Основные термодинамические величины во флуктуационной области.
22. Критические индексы. Области слабого и сильного обобщенного поля. Универсальность критических индексов.
23. Соотношения между критическими индексами. Значения критических индексов в теории Ландау.
24. Масштабная инвариантность. Приближенные значения критических индексов.
25. Масштабные размерности. Вычисление масштабных размерностей основных термодинамических величин.
26. Построение разложений термодинамического потенциала в областях слабого и сильного поля.
27. Нахождение термодинамических величин в произвольной точке плоскости температура-поле. Параметрическое уравнение состояния во флуктуационной области.
28. Вероятность образования зародыша новой фазы при фазовом переходе I рода.
29. Кинетика роста уединенных зародышей.



30. Взаимодействие зародышей. Стадия коалесценции.  
31. Фазовые переходы II рода. Зависимость времен релаксации от размера неоднородности.

**Задания для самостоятельной работы к лабораторной работе 1-4.**

Лекционные занятия ориентированы на освещение вводных тем в каждый раздел курса и призваны ориентировать студентов в предлагаемом материале, заложить научные и методологические основы для дальнейшей самостоятельной работы студентов.

Важной является самостоятельная работа по курсу. В ходе этой работы студенты отбирают необходимый материал по изучаемому вопросу и анализируют его.

Методические указания по сдаче зачета.

Зачеты принимаются ведущим преподавателем. При большом количестве групп у одного преподавателя или при большой численности потока по распоряжению заведующего кафедрой (заместителя директора филиала по учебной и воспитательной работе) допускается привлечение в помощь ведущему преподавателю других преподавателей.

Форма проведения зачета (устная, письменная и др.) утверждается на заседании кафедры по согласованию с руководителем в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины.

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используется следующее программное обеспечение: Microsoft Office ( Excel, PowerPoint, Word и т. д), Open Office, программное обеспечение электронного ресурса сайта ДВФУ, включая ЭБС ДВФУ.

При осуществлении образовательного процесса студентами и профессорско-преподавательским составом используются следующие информационно справочные системы: ЭБС ДВФУ, библиотеки, ресурсы и порталы по естествознанию.

**Вопросы**

1. Фазовые переходы и их влияние на свойства веществ. Примеры важнейших низкотемпературных фазовых переходов.
2. Фазовый переход как состояние неполного равновесия. Параметр порядка.
3. Связь состояний частичного и полного равновесия системы. Минимизация термодинамического потенциала состояния частичного равновесия.
4. Гетерофазное состояние системы. Вероятность образования зародыша. Вклад гетерофазных флуктуаций в термодинамический потенциал.
5. Классификация фазовых переходов.
6. Фазовые переходы I рода. Условия равновесия фаз.
7. Критическая точка. Бинодаль и спинодаль.

8. Термодинамические неравенства.
9. Уравнение ван-дер-Ваальса. Модельная система с фазовым переходом I рода.
10. Равновесие фаз в смесях и растворах. Правило фаз Гиббса.
11. Равновесие фаз в слабых растворах.
12. Выделение тепла и изменение объёма при растворении.
13. Фазовые переходы II рода. Примеры. Изменение симметрии при переходе.
14. Микроскопическая модель фазового перехода II рода: система спинов на решетке.
15. Параметр порядка. Разложение Ландау термодинамического потенциала по степеням параметра порядка. Условия на коэффициенты разложения.
16. Изменение термодинамических величин при переходе. Уравнения Эренфеста.
17. Влияние внешнего поля на фазовый переход. Обобщенное поле. Восприимчивость.
18. Флуктуации параметра порядка и их корреляционная функция.
19. Теория эффективного гамильтониана.
20. Флуктуационная поправка к теплоёмкости при фазовом переходе II рода. Границы применимости теории Ландау.
21. Флуктуационная область. Основные термодинамические величины во флуктуационной области.
22. Критические индексы. Области слабого и сильного обобщенного поля. Универсальность критических индексов.
23. Соотношения между критическими индексами. Значения критических индексов в теории Ландау.
24. Масштабная инвариантность. Приближенные значения критических индексов.
25. Масштабные размерности. Вычисление масштабных размерностей основных термодинамических величин.
26. Построение разложений термодинамического потенциала в областях слабого и сильного поля.
27. Нахождение термодинамических величин в произвольной точке плоскости температура-поле. Параметрическое уравнение состояния во флуктуационной области.
28. Вероятность образования зародыша новой фазы при фазовом переходе I рода.
29. Кинетика роста уединенных зародышей.
30. Взаимодействие зародышей. Стадия коалесценции.
31. Фазовые переходы II рода. Зависимость времен релаксации от размера неоднородности.

## 6. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел № 1, Термодинамическое описание равновесных систем	ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	Знает наиболее эффективные методы решения основных типов задач в физике фазовых переходов	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)	Экзамен Вопросы 1-8
	Умеет применять наиболее эффективные методы решения для основных типов задач в физике фазовых переходов				
	Раздел № 2, Фазовые переходы первого и второго рода	ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	Владеет навыками применения алгоритмов, методов, пакетов программ для решения основных типов задач в физике фазовых переходов	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)	Экзамен Вопросы 9-16
			Знает наиболее эффективные методы решения основных типов задач в физике фазовых переходов		
2	Раздел № 3, Фазовый переход	ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения	Знает наиболее эффективные методы решения основных типов задач в физике фазовых переходов	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)	Экзамен Вопросы 17-23

	ферромагнетик-парамагнетик	основных типов задач, встречающихся в физике	Умеет применять наиболее эффективные методы решения для основных типов задач в физике фазовых переходов		
			Владеет навыками применения алгоритмов, методов, пакетов программ для решения основных типов задач в физике фазовых переходов		
3	Раздел № 4, Флуктуации в ферромагнетиках. Фазовый переход в системе бозонов	ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	Знает наиболее эффективные методы решения основных типов задач в физике фазовых переходов	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)	Экзамен Вопросы 24-31
			Умеет применять наиболее эффективные методы решения для основных типов задач в физике фазовых переходов		
			Владеет навыками применения алгоритмов, методов, пакетов программ для решения основных типов задач в физике фазовых переходов		

Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие результаты обучения, представлены в Приложении

## 7. СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература

*(электронные и печатные издания)*

1. Прудников, В.В. Фазовые переходы и методы их компьютерного моделирования [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.В. Прудников, А.Н. Вакилов, П.В. Прудников. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2009. — 223 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2288](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2288)
2. Вшивков, С.А. Фазовые переходы полимерных систем во внешних полях [Электронный ресурс] : учебное пособие. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2013. — 368 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=30431](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=30431)
3. Скрипов, В.П. Фазовые переходы кристалл-жидкость-пар и термодинамическое подобие [Электронный ресурс] : / В.П. Скрипов, М.З. Файзуллин. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2003. — 160 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59358](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59358)

### Дополнительная литература

*(печатные и электронные издания)*

1. Кузнецова, Ю.В. Диоксид ванадия и твердые растворы на его основе. Фазовые переходы, структура и свойства [Электронный ресурс] : / Ю.В. Кузнецова, О.В. Лях, Е.Н. Меркушев [и др.]. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2013. — 104 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=59654](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=59654)
2. Россихин, Н.А. Расчет и проектирование аккумуляторов теплоты на фазовых переходах (капсульного типа) [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана (Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана), 2010. — 40 с. — Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=52201](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=52201)
3. Елесин В.Ф., Кашурников В.А. Физика фазовых переходов: М.; 1997. 180с

### Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

#### «Интернет»

1. [http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_1781393#1](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_1781393#1) Камилов И.К. Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах: (цикл работ)

2. [http://www.newlibrary.ru/book/izyumov\\_yu\\_a\\_syromjatnikov\\_v\\_n\\_fazovy\\_e\\_perehody\\_i\\_simmetrija\\_kristallov.html](http://www.newlibrary.ru/book/izyumov_yu_a_syromjatnikov_v_n_fazovy_e_perehody_i_simmetrija_kristallov.html) Изюмов Ю.А., Сыромятников В.Н. Фазовые переходы и симметрия кристаллов
3. <http://www.books.ru/books/mikrokanonicheskaya-termodynamika-fazovye-perekhody-v-malykh-sistemakh-per-s-angl-837893/> Х.Э. Гросс. Микроканоническая термодинамика. Фазовые переходы в "Малых" системах.

### Перечень информационных технологий и программного обеспечения

Не предусмотрено.

## 8.МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебные занятия по дисциплине могут проводиться в следующих помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением, расположенных по адресу 690022, г. Владивосток, о.Русский, п. Аякс, 10:

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы <sup>1</sup>	Оснащенность специальных помещений и помещений для проведения учебных занятий, для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебные аудитории для проведения учебных занятий:		
D208/347, D303, D313a, D401, D453, D461, D518, D708, D709, D758, D761, D762, D765, D766, D771, D917, D918, D920, D925, D576, D807	Лекционная аудитория оборудована маркерной доской, аудиопроигрывателем	ЗДЕСЬ ДОПОЛНИТСЯ ЛИЦЕНЗИОННЫМ ПО
D229, D304, D306, D349, D350, D351, D352, D353, D403, D404, D405, D414, D434, D435, D453, D503, D504, D517, D522, D577, D578, D579, D580, D602, D603, D657, D658, D702, D704, D705, D707, D721, D722,	2 этаж, пом № 135, Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеисточников документ-камера CP355AF Avergence; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления	

<sup>1</sup> В соответствии с п.4.3. ФГОС

D723, D735, D736, D764, D769, D770, D773, D810, D811, D906, D914, D921, D922, D923, D924, D926		
D207/346	Мультимедийная аудитория: Проектор 3-chip DLP, 10 600 ANSI-лм, WUXGA 1 920x1 200 (16:10) PT-DZ110XE Panasonic; экран 316x500 см, 16:10 с эл. приводом; крепление настенно-потолочное Elpro Large Electrol Projecta; профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG; подсистема видеисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления).	
D226	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления), D362 (профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; Компьютерный класс на 15 посадочных мест	
D447, D448, D449, D450, D451, D452, D502, D575	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, подсистема видеисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления	
D446, D604, D656, D659, D737, D808, D809, D812	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации; подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; Компьютерный класс; Рабочее место: Компьютеры (Твердотельный диск - объемом 128 Гб; Жесткий диск - объем 1000 Гб; Форм-фактор – Tower); комплектуется клавиатурой, мышью. Монитором AOC i2757Fm; комплектом шнуров эл. питания) Модель - M93p 1; Лингафонный класс, компьютеры оснащены программным комплексом Sanako study 1200	
D501, D601	Мультимедийная аудитория: Проектор Mitsubishi EW330U, Экран проекционный ScreenLine Trim White Ice, профессиональная ЖК-панель 47", 500 Кд/м2, Full HD M4716CCBA LG, подсистема видеисточников документ-камера CP355AF Avervision; подсистема видеокоммутации;	

	подсистема аудиокоммутации и звукоусиления; подсистема интерактивного управления; Компьютерный класс на 26 рабочих мест. Рабочее место: Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK	
Помещения для самостоятельной работы:		
А1042 аудитория для самостоятельной работы студентов	Моноблок Lenovo C360G-i34164G500UDK – 115 шт.; Интегрированный сенсорный дисплей Polymedia FlipBox; Копир-принтер-цветной сканер в e-mail с 4 лотками Xerox WorkCentre 5330 (WC5330C; Полноцветный копир-принтер-сканер Xerox WorkCentre 7530 (WC7530CPS Оборудование для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья: Дисплей Брайля Focus-40 Blue – 3 шт.; Дисплей Брайля Focus-80 Blue; Рабочая станция Lenovo ThinkCentre E73z – 3 шт.; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой; Устройство портативное для чтения плоскочечатных текстов PEarl; Сканирующая и читающая машина для незрячих и слабовидящих пользователей SARA; Принтер Брайля Emprint SpotDot - 2 шт.; Принтер Брайля Everest - D V4; Видео увеличитель ONYX Swing-Arm PC edition; Видео увеличитель Topaz 24" XL стационарный электронный; Обучающая система для детей тактильно-речевая, либо для людей с ограниченными возможностями здоровья; Увеличитель ручной видео RUBY портативный – 2 шт.; Экран Samsung S23C200B; Маркер-диктофон Touch Memo цифровой.	Microsoft Windows 7 Pro MAGic 12.0 Pro, Jaws for Windows 15.0 Pro, Open book 9.0, Duxbury BrailleTranslator, Dolphin Guide (контракт № А238-14/2); Неисключительные права на использование ПО Microsoft рабочих станций пользователей (контракт ЭА-261-18 от 02.08.2018): - лицензия на клиентскую операционную систему; - лицензия на пакет офисных продуктов для работы с документами включая формат.docx , .xlsx , .vsd , .ppt.; - лицензия на право подключения пользователя к серверным операционным системам , используемым в ДВФУ : Microsoft Windows Server 2008/2012; - лицензия на право подключения к серверу Microsoft Exchange Server Enterprise; - лицензия на право подключения к внутренней информационной системе документооборота и portalу с возможностью поиска информации во множестве удаленных и локальных хранилищах, ресурсах, библиотеках информации, включая порталные хранилища, используемой в ДВФУ: Microsoft SharePoint; - лицензия на право подключения к системе централизованного управления рабочими станциями, используемой в ДВФУ: Microsoft System Center.

## 10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств представлены в приложении.





МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Дальневосточный федеральный университет»  
(ДВФУ)

Добавлено примечание ([НРН1]): Исправлено на новое

---

НАЗВАНИЕ ШКОЛЫ (ФИЛИАЛА)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
по дисциплине «Название»  
Направление подготовки 00.00.00 Название направления  
профиль/ специализация/ магистерская программа «Название»  
Форма подготовки очная/ заочная

Владивосток

20\_\_

Добавлено примечание ([НРН2]): Удалила 1

**Перечень форм оценивания, применяемых на различных этапах формирования компетенций в ходе освоения дисциплины / модуля**

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	
				текущий контроль	промежуточная аттестация
1	Раздел № 1, Термодинамическое описание равновесных систем	ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	Знает наиболее эффективные методы решения основных типов задач в физике фазовых переходов	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)	Экзамен Вопросы 1-8
	Умеет применять наиболее эффективные методы решения для основных типов задач в физике фазовых переходов				
	Раздел № 2, Фазовые переходы первого и второго рода	ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	Владеет навыками применения алгоритмов, методов, пакетов программ для решения основных типов задач в физике фазовых переходов	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)	Экзамен Вопросы 9-16
			Знает наиболее эффективные методы решения основных типов задач в физике фазовых переходов		
2	Раздел № 3, Фазовый переход	ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения	Знает наиболее эффективные методы решения основных типов задач в физике фазовых переходов	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)	Экзамен Вопросы 17-23

	ферромагнетик-парамагнетик	основных типов задач, встречающихся в физике	Умеет применять наиболее эффективные методы решения для основных типов задач в физике фазовых переходов		
			Владеет навыками применения алгоритмов, методов, пакетов программ для решения основных типов задач в физике фазовых переходов		
3	Раздел № 4, Флуктуации в ферромагнетиках. Фазовый переход в системе бозонов	ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач, встречающихся в физике	Знает наиболее эффективные методы решения основных типов задач в физике фазовых переходов	Собеседование (УО-1), Устный опрос (УО-1)	Экзамен Вопросы 24-31
			Умеет применять наиболее эффективные методы решения для основных типов задач в физике фазовых переходов		
			Владеет навыками применения алгоритмов, методов, пакетов программ для решения основных типов задач в физике фазовых переходов		

### Оценочные средства для текущего контроля

Обсуждение проводится по текущему лекционному материалу и затрагивает наиболее важные изложенные результаты.

Примеры вопросов для обсуждения:

1. Характерные признаки и различия фазовых переходов I и II родов.
2. Характеристики состояния неполного равновесия и его отличия от состояния истинного равновесия.
3. Соотношение между основными приближениями в теории среднего поля магнитного фазового перехода.
4. Отличия результатов теории Ландау и метода критических индексов во флуктуационной области.

Опрос проводится по пройденному материалу. Примеры вопросов:

1. Как связано распределение Гиббса со статистической независимостью подсистем?
2. Почему температура в состоянии равновесия всегда положительна?
3. Из каких физических представлений получается формула для вероятности флуктуаций в замкнутой системе?

4. Если фазовый переход I рода происходит при повышении температуры, то каков знак теп-ла перехода?

Примеры вопросов для контрольных работ:

1. Правило фаз Гиббса.
2. Разложение Ландау для термодинамического потенциала.
3. Восприимчивость и её зависимость от температуры.
4. Термодинамические величины в области слабых и сильных полей.
5. Уравнения Эренфеста.
6. Корреляционная функция флуктуаций.

Вопросы для зачёта/экзамена:

1. Фазовые переходы и их влияние на свойства веществ. Примеры важнейших низкотемпера-турных фазовых переходов.
2. Фазовый переход как состояние неполного равновесия. Параметр порядка.
3. Связь состояний частичного и полного равновесия системы. Минимизация термодинами-ческого потенциала состояния частичного равновесия.
4. Гетерофазное состояние системы. Вероятность образования зародыша. Вклад гетерофаз-ных флуктуаций в термодинамический потенциал.
5. Классификация фазовых переходов.
6. Фазовые переходы I рода. Условия равновесия фаз.
7. Критическая точка. Бинодаль и спинодаль.
8. Термодинамические неравенства.
9. Уравнение ван-дер-Ваальса. Модельная система с фазовым переходом I рода.
10. Равновесие фаз в смесях и растворах. Правило фаз Гиббса.
11. Равновесие фаз в слабых растворах.
12. Выделение тепла и изменение объёма при растворении.
13. Фазовые переходы II рода. Примеры. Изменение симметрии при переходе.
14. Микроскопическая модель фазового перехода II рода: система спинов на решетке.
15. Параметр порядка. Разложение Ландау термодинамического потенциала по степеням па-раметра порядка. Условия на коэффициенты разложения.

16. Изменение термодинамических величин при переходе. Уравнения Эренфеста.
17. Влияние внешнего поля на фазовый переход. Обобщенное поле. Восприимчивость.
18. Флюктуации параметра порядка и их корреляционная функция.
19. Теория эффективного гамильтониана.
20. Флюктуационная поправка к теплоёмкости при фазовом переходе II рода. Границы применимости теории Ландау.
21. Флюктуационная область. Основные термодинамические величины во флюктуационной области.
22. Критические индексы. Области слабого и сильного обобщенного поля. Универсальность критических индексов.
23. Соотношения между критическими индексами. Значения критических индексов в теории Ландау.
24. Масштабная инвариантность. Приближенные значения критических индексов.
25. Масштабные размерности. Вычисление масштабных размерностей основных термодинамических величин.
26. Построение разложений термодинамического потенциала в областях слабого и сильного поля.
27. Нахождение термодинамических величин в произвольной точке плоскости температура-поле. Параметрическое уравнение состояния во флюктуационной области.
28. Вероятность образования зародыша новой фазы при фазовом переходе I рода.
29. Кинетика роста уединенных зародышей.
30. Взаимодействие зародышей. Стадия коалесценции.
31. Фазовые переходы II рода. Зависимость времен релаксации от размера неоднородности.

#### Оценочные средства для промежуточной аттестации

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Шкала оценивания промежуточной аттестации			
		Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
ПК -1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения основных типов задач,	Знает	Не имеет фрагментарные знания основных понятий, представления модели уровни описания, а также классификацию фазовых переходов.	Имеет фрагментарные знания основных понятий, представления модели уровни описания, а также	Знает основные понятия, представления модели уровни описания, а также классификацию фазовых переходов.	Знает основные понятия, представления модели уровни описания, а также классификацию фазовых переходов.

встречающихся в физике		Не знает математический аппарат, необходимый описания и анализа физики и фазовых переходов	классификацию фазовых переходов. Не знает математический аппарат, необходимый описания и анализа физики и фазовых переходов	Знает математический аппарат, необходимый описания и анализа физики и фазовых переходов	Знает математический аппарат, необходимый описания и анализа физики и фазовых переходов Имеет хорошо структурированные знания в данной области физики
	Умеет	Не умеет пользоваться при анализе термодинамических систем методом термодинамических потенциалов. Также не умеет находить диаграмму устойчивых состояний различных фаз и выявлять характер критических точек и линии фазовых переходов. Не умеет исследовать простейшие термодинамические системы и находить критические индексы характерных параметров	Умеет пользоваться при анализе термодинамических систем методом термодинамических потенциалов. Также не умеет находить диаграмму устойчивых состояний различных фаз и выявлять характер критических точек и линии фазовых переходов. Не умеет исследовать простейшие термодинамические системы и находить критические индексы	Умеет пользоваться при анализе термодинамических систем методом термодинамических потенциалов. Также умеет находить диаграмму устойчивых состояний различных фаз и выявлять характер критических точек и линии фазовых переходов. Умеет исследовать простейшие термодинамические системы и находить критические индексы характерных	Отлично ориентируется в математическом аппарате, анализе термодинамических систем различными методами. Умеет находить и анализировать диаграмму устойчивых состояний различных фаз и выявлять характер критических точек и линий фазовых переходов. Умеет исследовать различные термодинамические системы и находить

		(теплоёмкость, восприимчивость)	характерных параметров (теплоёмкость, восприимчивость)	параметров (теплоёмкость, восприимчивость)	критические индексы
	Владеет навыками	Не владеет методикой построения диаграммы устойчивых состояний магнитных фаз для некоторых простейших термодинамических систем (газ, Ван-дер-Ваальса, изотропный магнетик и т. д.) Не владеет навыками и приемами анализа термодинамического состояния некоторых простейших систем	Владеет методикой построения диаграммы устойчивых состояний магнитных фаз для некоторых простейших термодинамических систем (газ, Ван-дер-Ваальса, изотропный магнетик и т. д.) Владеет базовыми навыками и приемами анализа термодинамического состояния некоторых простейших систем	Владеет методикой построения и анализа диаграммы устойчивых состояний магнитных фаз для различных термодинамических систем (газ, Ван-дер-Ваальса, изотропный магнетик и т. д.) Владеет основными навыками и приемами анализа термодинамического состояния некоторых простейших систем	Владеет всеми изученными методиками построения и анализа диаграммы устойчивых состояний магнитных фаз для различных термодинамических систем (газ, Ван-дер-Ваальса, изотропный магнетик и т. д.) Владеет всеми изученными навыками и приемами анализа термодинамического состояния некоторых простейших систем

1. Фазовые переходы и их влияние на свойства веществ. Примеры важнейших низкотемпературных фазовых переходов.
2. Фазовый переход как состояние неполного равновесия. Параметр порядка.
3. Связь состояний частичного и полного равновесия системы. Минимизация термодинамического потенциала состояния частичного равновесия.

4. Гетерофазное состояние системы. Вероятность образования зародыша. Вклад гетерофаз-ных флуктуаций в термодинамический потенциал.
5. Классификация фазовых переходов.
6. Фазовые переходы I рода. Условия равновесия фаз.
7. Критическая точка. Бинодаль и спинодаль.
8. Термодинамические неравенства.
9. Уравнение ван-дер-Ваальса. Модельная система с фазовым переходом I рода.
10. Равновесие фаз в смесях и растворах. Правило фаз Гиббса.
11. Равновесие фаз в слабых растворах.
12. Выделение тепла и изменение объёма при растворении.
13. Фазовые переходы II рода. Примеры. Изменение симметрии при переходе.
14. Микроскопическая модель фазового перехода II рода: система спинов на решетке.
15. Параметр порядка. Разложение Ландау термодинамического потенциала по степеням па-раметра порядка. Условия на коэффициенты разложения.
16. Изменение термодинамических величин при переходе. Уравнения Эренфеста.
17. Влияние внешнего поля на фазовый переход. Обобщенное поле. Восприимчивость.
18. Флуктуации параметра порядка и их корреляционная функция.
19. Теория эффективного гамильтониана.
20. Флуктуационная поправка к теплоёмкости при фазовом переходе II рода. Границы при-менимости теории Ландау.
21. Флуктуационная область. Основные термодинамические величины во флуктуационной области.
22. Критические индексы. Области слабого и сильного обобщенного поля. Универсальность критических индексов.
23. Соотношения между критическими индексами. Значения критических индексов в теории Ландау.
24. Масштабная инвариантность. Приближенные значения критических индексов.
25. Масштабные размерности. Вычисление масштабных размерностей основных термодина-мических величин.
26. Построение разложений термодинамического потенциала в областях слабого и сильного поля.
27. Нахождение термодинамических величин в произвольной точке плоскости температура-поле. Параметрическое уравнение состояния во флуктуационной области.
28. Вероятность образования зародыша новой фазы при фазовом переходе I рода.
29. Кинетика роста уединенных зародышей.



30. Взаимодействие зародышей. Стадия коалесценции.

31. Фазовые переходы II рода. Зависимость времен релаксации от размера неоднородности.

**Заключение работодателя на ФОС (ОМ)**

